

Expérimentation, instrumentation et argumentation

Yves GINGRAS, Benoît GODIN

Centre interuniversitaire de recherche
sur la science et la technologie (CIRST),
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888, Suc. Centre-Ville, Montréal
Québec, Canada, H3 C 3P8

CIRST CENTRE DE RECHERCHE

Résumé

L'objet de ce texte est de présenter un rapide survol de l'évolution historique du rôle de l'expérimentation et de l'instrumentation dans les sciences de la nature et de proposer un modèle de la dynamique de l'activité scientifique qui fasse ressortir le rôle de l'argumentation dans la validation des connaissances au sein d'un champ scientifique.

Mots clés : *expérimentation, instrumentation, argumentation.*

Abstract

This paper surveys the evolution of the role of experimentation and instrumentation in science and proposes a model of the dynamic of scientific change which insists on argumentation in the process of validation of knowledge by the scientific community.

Key words : *expérimentation, instrumentation, argumentation.*

Resumen

El objeto de este texto es de hacer una rápida presentación de la evolución histórica del rol de la experimentación y de la instrumentación en ciencias naturales y de

proponer un modelo de la dinámica de la actividad científica que insista sobre el rol de la argumentación en el proceso de validación de conocimientos dentro del campo científico.

Palabras claves : *experimentación, instrumentación, argumentación.*

1. INTRODUCTION

Les sciences de la nature sont aujourd'hui essentiellement, bien qu'à des degrés divers, expérimentales et instrumentales. Certaines, comme la physique, sont aussi fortement liées aux sciences formelles que sont les mathématiques, mais ce sont les deux premières caractéristiques qui définissent en propre, et ce depuis au moins le XVII^e siècle, les sciences qui prennent le monde matériel pour objet.

Nous voulons, par ce texte, présenter un rapide survol de l'évolution historique du rôle de l'expérimentation et de l'instrumentation dans les sciences de la nature – terme sous lequel nous regroupons les sciences physiques, chimiques et biologiques – et proposer un modèle de la dynamique de l'activité scientifique qui fasse ressortir le rôle de l'argumentation dans la validation des connaissances au sein d'un champ scientifique. Il n'est pas question de proposer un modèle éducatif de l'enseignement mais nous croyons que nos propos peuvent toutefois être utiles pour stimuler la discussion sur la place de l'expérimentation dans les situations d'apprentissage. La brièveté de ce point de vue ne nous permet pas d'aborder les rapports entre expérimentation et argumentation dans toute leur complexité historique et sociologique, mais le lecteur pourra se référer à notre bibliographie pour des analyses plus approfondies.

2. EXPÉRIENCE ET EXPÉRIMENTATION

Depuis ce qu'il est convenu d'appeler la « Révolution scientifique du XVII^e siècle », la science se caractérise, avant tout, par son recours à l'expérimentation, activité qui est au cœur des sciences de la nature (Shapin, 1996). En effet, se met en place au cours de la première moitié de ce siècle, et à un rythme qui varie selon les domaines, une distinction de plus en plus nette entre la notion aristotélicienne d'expérience et le concept d'expérimentation. La première réfère à l'ensemble des faits particuliers qui dérivent de la perception, alors que le second renvoie plutôt à la production contrôlée d'un effet, naturel ou artificiel (Dear, 1995 ; Mansion 1987).

L'expérience aristotélicienne cherche essentiellement à illustrer et à confirmer le savoir déjà établi et ne vise pas à le remettre en question, sauf parfois en contexte polémique (Schmitt, 1969 ; Lloyd, 1990). Au contraire, l'expérimentation est plus souvent conçue comme une façon de provoquer des phénomènes ou de tester (mettre à l'épreuve) une hypothèse. Cette dernière approche mène à l'idée d'expérience cruciale (*experimentum crucis*) proposée par Francis Bacon qui vise explicitement à départager deux hypothèses ou théories rivales. Ainsi, la philosophie expérimentale de Bacon renverse la conception que les Anciens se faisaient de l'expérience. Pour ces derniers, la production contrôlée des phénomènes était contre nature et ne pouvait mener à un savoir véritable du cours naturel des choses (Grmek, 1997, pp. 59-65). Pour Bacon, au contraire, la science avance en provoquant des phénomènes nouveaux, de façon artificielle, par le biais d'instruments.

Bien sûr, la pratique de l'expérimentation n'a pas été totalement absente du monde savant avant la période classique. Les travaux récents des historiens ont bien montré que l'on en trouve quelques exemples dans la Grèce antique et hellénistique, surtout en optique et en médecine (Lloyd, 1987, 1990 ; Grmek, 1997). Le Moyen-Âge fournit aussi quelques exemples de recours à l'expérimentation, mais ils concernent des phénomènes déjà connus et ne visent pas à produire des phénomènes nouveaux (Grant, 1996). Les appels à l'expérimentation étaient le plus souvent de nature rhétorique et constituaient des arguments pour discréditer les théories adverses plutôt que des pratiques effectives visant la production de connaissances nouvelles.

En somme, l'idée d'expérimentation a des racines anciennes, mais son usage systématique ne se cristallise qu'au XVII^e siècle, grâce, entre autres, à la création d'institutions comme l'Accademia del Cimento en Italie, la Société Royale de Londres et l'Académie Royale des Sciences de Paris, lieux de rencontre et de formation d'une première communauté scientifique organisée, qui, pour faciliter la diffusion de ses travaux, se dotera, dans les années 1660, de revues comme *Le Journal des savants* et les *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

3. NOUVEAUX INSTRUMENTS, NOUVEAUX CONCEPTS

Jusqu'au début du XVII^e siècle, tout le savoir reposait sur la perception non médiatisée des objets de la nature. L'introduction d'instruments comme le télescope, le microscope, le baromètre et la pompe à air constituent donc une transformation majeure de la pratique de la science. L'existence de ces nouveaux instruments entraîne en effet deux conséquences importantes :

- elle transforme la formulation de problèmes anciens, qui restaient purement théoriques et donnaient lieu à des débats sans fins, et rend ainsi possible leur résolution ;

- elle stimule la création de nouveaux concepts.

Il ne faudrait cependant pas associer trop étroitement expérimentation, ou même instrumentation, et quantification. En effet les premiers instruments ne servent pas à mesurer : le télescope et le microscope ne font que modifier les dimensions des objets observés. À l'origine, le tube de Torricelli (qui deviendra le baromètre) a une fonction qualitative et non quantitative. Il sert d'ailleurs de premier instrument pour expérimenter dans le vide, ce que la pompe à air de Robert Boyle continuera à faire de façon plus pratique.

Les instruments scientifiques modifient donc le rapport à la nature. On sait que la mise au point du télescope par Galilée a joué un rôle important dans la critique de la cosmologie aristotélicienne. Le savant italien s'est aussi intéressé à d'autres instruments comme le thermoscope, ancêtre du thermomètre, qui permet de mesurer les degrés de chaleur. Cet appareil constitue une première étape vers la mesure quantitative de cette « qualité » beaucoup discutée depuis l'antiquité : la chaleur. Au cours des XVII^e et XVIII^e siècles, le thermomètre deviendra plus précis et un travail de normalisation cherchant à unifier les échelles de mesure sera entrepris. Sa mise au point permettra de soulever de nouvelles questions sur la nature de la chaleur. Intuitivement, en effet, il est difficile de faire la distinction entre chaleur et température et ce n'est qu'en expérimentant avec le thermomètre que les savants seront amenés à distinguer clairement les concepts de chaleur et de température. Ici, l'instrument rend possible le concept.

Dans le cas du tube de Torricelli, c'est plutôt le concept qui précède l'appareil. En effet, Torricelli croit que le poids de l'air atmosphérique explique la hauteur atteinte par les colonnes d'eau : si la limite est de 32 pieds c'est que l'équilibre entre la pression produite par une telle colonne d'eau et la pression atmosphérique est atteint à ce niveau. Comme il l'écrit en 1644 : « *Nous vivons submergés dans un océan d'air, et nous savons par des expériences indubitables que l'air est pesant.* » (Brunschi, 1953, p.140) Pour tester cette hypothèse, il suggère de remplacer l'eau par le mercure. Ce dernier étant environ treize fois plus dense que l'eau, l'équilibre devrait être atteint à une hauteur treize fois moins haute. Il remplit une colonne de mercure qu'il renverse ensuite dans un récipient contenant la même substance. Il constate alors que la hauteur atteinte par le mercure est de l'ordre de grandeur prévu. Cette expérience est typique de celles qui servent à tester une hypothèse.

C'est également dans ce cadre que se place la fameuse expérience du Puy-de-Dôme conçue par Pascal. Elle consista à comparer la lecture de

deux baromètres, l'un au pied et l'autre au sommet du mont. Si le poids de l'air est vraiment responsable de la montée du liquide dans le baromètre, la colonne de liquide devrait être moins haute au sommet de la montagne qu'à sa base. Réussie, l'expérience rend la vie plus difficile à ceux qui prétendent que l'air ne pèse pas et contribue à faire accepter la thèse de Torricelli. Pascal en publie aussitôt les résultats sous le titre *Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs*. Sur le plan méthodologique, Pascal avait déjà clairement conçu l'idée de l'expérience cruciale et surtout exprimé le fait que l'expérimentation permet de réfuter des hypothèses et non de les confirmer. À propos des hypothèses, il écrit en effet que «*s'il s'ensuit quelque chose de contraire à un seul phénomène, cela suffit pour assurer de sa fausseté*» (Licoppe, 1996, p.31). C'est d'ailleurs cette asymétrie entre l'induction et la déduction qui fonde l'idée d'expérience cruciale ou «*décisive*» pour reprendre le terme de Pascal.

L'appareil de Torricelli n'a pas seulement permis de poser - et de résoudre - la question du poids de l'air, il a aussi rendu possible les premières expérimentations dans l'espace vide au-dessus du mercure. En effet, que contenait cet espace apparemment vide de toute matière ? La question de l'existence du vide est, bien sûr, ancienne et les traités médiévaux commentant Aristote l'ont beaucoup discutée (Schmitt, 1967 ; Grant, 1981). Ce qui est nouveau au XVII^e siècle, c'est, on l'a dit, la mise au point d'instruments qui vont transformer la façon d'aborder cette question.

Pour connaître la nature de l'espace apparemment vide au-dessus de la colonne de mercure, Torricelli et ses disciples y avaient introduit divers objets et des organismes vivants. Cependant, du point de vue pratique l'accès à cet espace de dimension réduite n'était pas facile et il faut attendre la mise au point de la pompe à air, dite alors «pompe pneumatique», du savant anglais Robert Boyle (1627-1691) pour faciliter ce genre d'expériences et en arriver à un consensus, au sein du monde savant, sur la nature du vide.

Construite en 1659 par son assistant Robert Hooke, la pompe à air constitue une transformation de l'appareil de Otto von Guericke mis au point au milieu des années 1650 (Shapin & Schaffer, 1985). La machine de Boyle donne plus facilement accès à un espace suffisamment grand pour faire toutes sortes d'expériences en incorporant des objets dans la machine avant de commencer le pompage de l'air.

Plusieurs des observations que Boyle rapporte méticuleusement dans son livre *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of Air*, paru en 1660, ne visent pas à tester une hypothèse mais à produire des faits nouveaux. Entre les mains de Boyle et de Hooke, l'instrument sert, en quelque sorte, la philosophie de Lord Francis Bacon.

Pour l'époque, cet appareil était très coûteux et nécessitait la présence de techniciens compétents. Au moment où Boyle publie ses résultats, il n'existait pas plus de quatre pompes à air dans toute l'Europe. Aussi, leur rareté et leur sophistication technique soulevaient les mêmes problèmes de réplication des résultats si souvent évoqués dans la sociologie contemporaine de la science (Shapin & Schaffer, 1985). Par exemple, l'un des tout premiers chercheurs à vouloir suivre Boyle dans ce genre de recherche fut Christian Huygens qui fit construire sa propre pompe à air à Paris. Cependant, au début, il ne réussit pas à la faire fonctionner sans Boyle qui était obligé d'aller à Paris pour surveiller la mise en marche de l'instrument, instrument qui était similaire, mais non identique, au sien car il utilisait une chambre en cuivre plutôt qu'en bois. Ainsi Huygens pouvait prétendre que les différences dans les résultats obtenus par les deux chercheurs étaient dues au fait que son instrument était plus perfectionné.

4. REPRODUCTIBILITÉ ET FLEXIBILITÉ INTERPRÉTATIVE DES OBSERVATIONS

L'accès limité à des appareils coûteux créait de nouvelles difficultés pour la reproduction des expériences. Par exemple, dans la controverse entourant les expériences de Lavoisier sur la synthèse de l'eau, son rival, Joseph Priestley, qui utilisait des montages expérimentaux relativement simples, rétorquait qu'il s'en tiendrait à ses propres résultats aussi longtemps que les chimistes français feraient leurs expériences avec des appareils coûteux et d'utilisation délicate (Golinski, 1994). En somme, à cette époque comme d'ailleurs aujourd'hui, il n'était pas facile d'en arriver à un consensus sur la nature des effets observés - et dans certains cas sur l'existence même de ces effets. Ce n'est, le plus souvent, qu'à moyen terme qu'un fait ou une interprétation nouveaux finissent par s'imposer.

Comme celle d'expérience, l'idée de reproduction ou de répétition des observations a des racines anciennes. Pour Aristote une expérience est le résultat de l'observation répétée, qui rend possible la démonstration (Aristote, 1979, p. 148 ; Mansion, 1987). Alors qu'Aristote et ses disciples admettent, contrairement aux sceptiques, la fiabilité des sens, l'usage d'instruments soulève à nouveau la question du sceptique : quelle valeur accorder aux résultats produits par des instruments ? Comment savoir si ce ne sont pas des artefacts ? L'importance de ces questions a été mise en lumière, à compter du milieu des années 1970, par les travaux des sociologues des sciences. Étudiant en détail la façon dont les scientifiques discutent la question de la reproduction des résultats expérimentaux obtenus par un instrument sophistiqué, Harry Collins (1974, 1975, 1985) a mis en évidence

la complexité des discussions entourant la reproduction d'un phénomène expérimental.

Pour justifier l'usage de la lunette, Galilée pouvait faire valoir que, puisque l'appareil fonctionne bien dans le cas des objets terrestres, il n'y avait pas de raison pour qu'il ne fonctionne pas pour les objets célestes plus éloignés – bien que certains soutenaient le contraire en invoquant la distinction entre le monde sub-lunaire et le monde supra-lunaire (Van Helden, 1994). Dans le cas des ondes gravitationnelles, étudié par Collins, la situation est plus complexe car de telles ondes n'ont encore jamais été détectées par des instruments terrestres. Comment savoir alors si le détecteur construit spécialement pour enregistrer leur passage fonctionne correctement ? Pour un chercheur convaincu de l'existence de ces ondes, leur détection constitue une preuve que l'appareil fonctionne bien, alors que pour quelqu'un qui nie la possibilité de détecter de telles ondes sur Terre, la présence d'un signal sera le fait d'un artefact expérimental. Collins réfère à ce problème de circularité en parlant de «régression de l'expérimentateur» (traduction littérale de «*experimenter's regress*»).

En fait, la circularité n'existe pas vraiment si l'on considère d'autres facteurs qui affectent la prise de décision, comme les méthodes d'analyse des données, la cohérence avec d'autres faits ou théories, etc. (Hesse, 1986 ; Franklin, 1994). L'analyse des pratiques expérimentales fait aussi ressortir l'importance de la «*flexibilité interprétative*» des résultats d'expérience, qui dépend de ce que l'on peut appeler leur «*degré d'externalité*» (Pinch, 1986). En effet, plus l'expérimentation est instrumentée et s'éloigne de l'observation directe des phénomènes, plus la chaîne des inférences est longue et plus l'interprétation finale dépend de la solidité de chacun des maillons de l'argumentation. Il est donc important de bien comprendre que les objets de la science sont le plus souvent, à toute fin pratique, invisibles. L'oxygène de Lavoisier, l'électron de Thomson etc., ne sont pas connus directement mais seulement *via* leurs manifestations dans des situations provoquées par l'expérimentation. Dès lors, on comprend qu'une controverse scientifique est d'autant plus probable que l'énoncé s'éloigne du «sens commun» propre à une discipline donnée. Par exemple, dans le cas de la fusion froide, la controverse n'aurait probablement pas eu le même retentissement si, au lieu de déclarer avoir observé de la fusion nucléaire, les auteurs avaient simplement dit avoir produit un excès de chaleur dans une réaction chimique. Ce dernier est en effet chimiquement plus facile à mesurer et un tel énoncé a un «degré d'externalité» plus faible que l'énoncé «observation d'un processus de fusion nucléaire», lequel constitue une inférence risquée car les deux chimistes ne possédaient pas l'expertise et les instruments nécessaires (détecteurs de neutrons ou de rayons gamma, par exemple) pour fonder une telle assertion.

5. EXPÉRIMENTATION ET ARGUMENTATION

Au centre de tout le processus de production et de validation des «faits scientifiques», c'est la dynamique même de l'argumentation et de la contre-argumentation, bref du dialogue, qui permet de diminuer la flexibilité interprétative des données et ainsi d'arriver à un consensus au sein de la communauté scientifique à un moment donné.

De façon schématique, et pour reprendre l'ancienne métaphore de l'interrogation de la nature, on peut se représenter l'activité scientifique comme un dialogue à trois niveaux. Au premier, elle est un dialogue entre le scientifique et la nature. Bien sûr, celle-ci ne parle pas et c'est en fait le scientifique qui parle d'elle et surtout interagit avec elle par le biais d'instruments plus ou moins sophistiqués. Il construit alors des théories (et des modèles) qui visent à rendre raison des phénomènes observés. Le scientifique ne construit pas ses explications de façon totalement libre. La nature résiste et le force ainsi à modifier ses théories et ses instruments pour tenir compte de nouveaux phénomènes. (Gingras & Schweber, 1986 ; Gingras, 1997).

À un second niveau, l'activité scientifique peut être conçue comme un dialogue entre l'expérimentation instrumentée et les théories du phénomène étudié (Lenoir, 1988) et de l'appareil - théories qui ne sont généralement pas les mêmes de sorte qu'il n'y a pas de véritable cercle vicieux. Depuis les travaux de Duhem, Quine, Hanson, Kuhn et Feyerabend, on sait que les théories ne sont pas en relation bi-univoque avec les données. On dit qu'elles sont «sous-déterminées» (underdetermined). Les expériences sont donc, à des degrés divers, imprégnées de théories. Cependant, cette sous-détermination n'est que partielle car c'est moins la relation entre un phénomène donné et la théorie qui est jugée que l'ensemble du réseau déjà tissé entre phénomènes et théories (Hesse, 1986). C'est donc en regard de la cohérence globale d'une interprétation, toujours évaluée de façon pragmatique par les scientifiques, que se forment les consensus.

À un troisième niveau, l'activité scientifique est un dialogue – plus précisément une argumentation – entre experts, c'est-à-dire entre le scientifique qui propose un phénomène ou une interprétation, et la communauté des pairs à laquelle il appartient. Le scientifique doit ici convaincre ses collègues du bien-fondé de ce qu'il avance en fournissant à ceux-ci de bonnes raisons de croire à ses énoncés. La possibilité d'une dialectique de l'argumentation et de la contre-argumentation est rendue possible par une communauté de culture : le scientifique conçoit son expérimentation à la lumière de ce qui est connu et admis, dans le but de prévenir et de contrer les critiques (Perelman, 1988 ; Kitcher, 1991). Il cesse

d'expérimenter et présente alors ses résultats à ses pairs lorsqu'il estime que son travail est conforme aux standards de réception et lorsqu'il s'estime suffisamment certain de ses résultats (Galison, 1987).

En principe, un argument est jugé pertinent si les raisons avancées participent aux théories et aux faits acceptés, et s'il résiste aux objections présentées. Ainsi, dans son commentaire sur son expérience de 1785 à propos de la synthèse de l'eau, Lavoisier notait que les preuves de la décomposition et de la recombinaison de l'eau étant de l'ordre démonstratif, c'est seulement par des expériences démonstratives du même ordre qu'elles pouvaient être attaquées (Golinski, 1994). Il indiquait ainsi à ses collègues et opposants les règles à suivre pour le contester et imposait aussi le recours à des expériences et des appareils permettant d'atteindre le même degré de précision. Le débat se termine lorsque plus personne n'argumente (Pera, 1991) ou lorsque les opposants sont devenus marginaux au sein de la communauté. Ainsi, la compétence seule du chercheur ne suffit pas à clore un débat et un fait scientifique n'est jamais évident par lui-même. Il est plutôt le résultat d'un consensus au sein d'une communauté dont les membres considèrent disposer (à un moment donné) de la meilleure explication (Popper, 1962 ; Shapere, 1991). Bien sûr, seul un petit nombre de chercheurs participe activement au débat à un moment donné et tous n'ont pas la même crédibilité dans les échanges d'arguments, de sorte que l'importance accordée à un argument plutôt qu'à un autre n'est pas uniquement déterminée par son caractère intrinsèque mais dépend aussi de variables sociales (lieu de publication, autorité et position institutionnelle de l'auteur, etc.)

En somme, le champ scientifique est le lieu d'un contrôle social et intellectuel du travail scientifique (Bourdieu, 1975). Bachelard ne disait pas autre chose en 1938 : «*Nous proposons de fonder l'objectivité sur le comportement d'autrui [...] ; toute doctrine de l'objectivité en vient toujours à soumettre la connaissance de l'objet au contrôle d'autrui.*» (Bachelard, 1972) Paraphrasant Wittgenstein, nous écririons : il n'y a pas de science privée. Cesser d'échanger des arguments ou de produire de nouvelles données (expérimentales ou théoriques) équivaut à cesser de faire de la science (Gingras, 1995).

6. ENSEIGNEMENT ET EXPÉRIMENTATION

Étant donné la complexité des rapports entre expérimentation, instrumentation et argumentation dans un champ scientifique, on comprend que la place accordée à la pratique expérimentale en milieu scolaire ait fait l'objet de nombreuses critiques. On lui reproche, entre autres choses, de ne pas bien refléter la pratique scientifique et de ne servir qu'à illustrer des théories déjà apprises, plutôt qu'à inciter les étudiants à construire ce savoir

par eux-mêmes comme le feraient des chercheurs à la fine pointe de leur discipline (Hodson, 1988, 1996). Cela étant dit, la présentation par Michel Giuseppin des différentes fonctions des activités expérimentales dans l'enseignement secondaire et supérieur montre bien que l'expérimentation demeure essentielle au processus d'apprentissage des sciences (Giuseppin, 1996).

Tant du point de vue historique que sociologique, l'expérimentation se fait toujours en regard d'un certain état du savoir qu'elle vise à modifier ou à renforcer. La compréhension du caractère social et argumentatif de la production du savoir rappelle aussi que la science serait impossible sans la confiance accordée aux résultats déjà accumulés (Shapin, 1994). Il est en effet impossible de sans cesse tout remettre en question comme le ferait un sceptique radical. Kuhn (1963) a déjà insisté sur le rôle du dogme en science. Le scepticisme du savant ne s'exerce jamais que sur une portion bien définie du savoir accumulé. Et c'est ce savoir accepté par la communauté scientifique que l'on retrouve dans les manuels sans qu'il soit constamment nécessaire de refaire les expériences. En d'autres termes, les manuels sont eux-mêmes l'émanation du consensus de la communauté scientifique et le fait d'apprendre ces savoirs à l'école sans nécessairement les construire soi-même reflète bien la situation réelle de confiance qui, seule, rend possible l'avancement des sciences. Bien sûr, le passage de la science de pointe à sa présentation pédagogique est complexe et sinueux mais il demeure que le contenu reflète un état du savoir sanctionné par la communauté scientifique. Il suffit pour s'en convaincre *a contrario* d'imaginer les protestations qui émaneraient des associations de scientifiques découvrant des manuels de chimie présentant la fusion froide comme un fait accepté...

Les manipulations expérimentales en situation d'apprentissage scolaire peuvent, dès lors, servir à mieux comprendre les liens complexes entre expérimentation et explication des phénomènes dont nous avons parlé, sans donner l'illusion qu'il s'agit de découvrir soi-même des lois connues depuis des siècles. Les échanges en classe et les difficultés rencontrées lors des manipulations peuvent alors être présentées comme l'analogie de l'argumentation intersubjective régie par les règles du champ scientifique (Bourdieu, 1975). L'étudiant qui obtient des résultats différents de ceux de ses collègues devant alors expliquer pourquoi il en est ainsi et répondre aux objections formulées par ses collègues ou par le professeur. S'instaure alors une certaine réflexion, non seulement sur les caractéristiques techniques de l'expérimentation (savoir tacite, différences d'habileté des étudiants, etc.), mais également sur la dynamique sociale sous-jacente à toute pratique scientifique. Le laboratoire devient lui-même un modèle expérimental de la science en action qui ne vise plus l'utopie cartésienne de la construction individuelle du savoir mais rappelle, au contraire, l'importance des conditions sociales du progrès des sciences.

BIBLIOGRAPHIE

- APEL K.O. (1980). *Towards a Transformation of Philosophy*. London, Routledge.
- BACHELARD G. (1972). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin [1938].
- BACHELARD G. (1991). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris, PUF [1934].
- BACHELARD G. (1994). *Le rationalisme appliqué*. Paris, PUF [1949].
- BOURDIEU P. (1975). Le champ scientifique et les conditions sociales du progrès de la raison. *Sociologie et sociétés*, vol. 7, n° 1, pp. 91-117.
- BRUNSCHVICG L. (1953). *Blaise Pascal*. Paris, Vrin.
- COLLINS H.M. (1974). The TEA-Set : Tacit Knowledge and Scientific Networks. *Science Studies*, vol. 4, pp. 165-186.
- COLLINS H.M. (1975). The Seven Sexes : A Study in the Sociology of a Phenomenon of the Replication of Experiments in Physics. *Sociology*, vol. 9, pp. 205-224.
- COLLINS H.M. (1985). *Changing Order : Replication and Induction in Scientific Practice*. London, Sage.
- DEAR P. (1995). *Discipline and Experience : The Mathematical Way in the Scientific Revolution*. Chicago, Chicago university Press.
- FRANKLIN A. (1994). How to Avoid the Experimenter's Regress. *Studies in the History and Philosophy of Science*, vol. 25, pp. 463-491.
- GALISON P. (1987). *How Experiments End*. Chicago, Chicago University Press.
- GINGRAS Y. & SCHWEBER S.S. (1986). Constraints on Construction. *Social Studies of Science*, vol. 16, pp. 372-383.
- GINGRAS Y. (1995). Un air de radicalisme. Sur quelques tendances récentes en sociologie de la science et de la technologie. *Actes de la recherche en sciences sociales*, n° 108, juin 1995, pp. 3-17.
- GINGRAS Y. (1997). The New Dialectic of Nature. *Social Studies of Science*, vol. 27, may 1997, pp. 317-334.
- GIUSEPPIN M. (1996). Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques. *Didaskalia*, n° 9, pp. 107-118.
- GOLINSKI J. (1994). Precision Instruments and the Demonstrative Order of Proof in Lavoisier's Chemistry. *Osiris*, vol. 9, pp. 30-47.
- GOODING D, PINCH T, & SCHAFFER S. (1989). *The Uses of Experiment : Studies in the Natural Sciences*. Cambridge, Cambridge University Press.
- GRANT E. (1981). *Much Ado About Nothing. Theories of Space and Vacuum from the Middle Ages to the Scientific revolution*. Cambridge, Cambridge University Press.
- GRANT E. (1996). *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages*, Cambridge, Cambridge university Press.
- GRMEK M. D. (1997). *Le chaudron de Médée. L'expérimentation sur le vivant dans l'Antiquité*. Paris, Synthélabo.
- HABERMAN J. (1991). *De l'éthique de la discussion*. Paris, Cerf.
- HESSE M. (1986). Changing Concepts and Stable Order. *Social Studies of Science*, vol. 16, pp. 714-726.
- HODSON D. (1988). Experiments in Science and Science Teaching. *Educational Philosophy and Theory*, vol. 20, pp. 53-66.
- HODSON D. (1996). Laboratory Work as Scientific Method : Three Decades of Confusion and Distortion. *Journal of Curriculum Studies*, vol. 28, pp. 115-135.

- KITCHER P. (1991). Persuasion. In M. Pera and W.R. Shea (Éds), *Persuading Science : The Art of Scientific Rhetoric*. Canton, Science History Publications, pp. 3-27.
- KUHN T. (1963). The Function of Dogma in Scientific Research. In A. C. Crombie (Éd.), *Scientific Change*. London, pp. 347-369.
- LENOIR T. (1988). Practice, Reason, Context : The Dialogue Between Theory and Experiment. *Science in Context*, vol. 2, pp. 3-22.
- LICOPPE C. (1996). *La formation de la pratique scientifique*. Paris, La Découverte.
- LLOYD G.E.R. (1987). *The Revolution of Wisdom*. Berkeley, University of California Press.
- LLOYD G.E.R. (1990). *Magie, raison et expérience*. Paris, Flammarion.
- MANSION A. (1987). *Introduction à la physique d'Aristote*. 2ème édition revue et augmentée. Louvain-La-Neuve, Éditions de l'Institut supérieur de philosophie.
- PERA M. (1991). The Role and Value of Rhetoric in Science. In M. Pera and W.R. Shea. (Éds). *Persuading Science : The Art of Scientific Rhetoric*. Canton, Science History Publications, pp. 29-54.
- PERELMAN C. (1963). Self-Evidence and Proof. In C. Perelman, *The Idea of Justice and the Problem of Argument*. London, Routledge, pp. 109-124.
- PERELMAN C. & OLBRECHTS-TYTECA L. (1988). *Traité de l'argumentation*. Bruxelles, Éditions de l'Université de Bruxelles.
- PINCH T. (1986). Toward an Analysis of Scientific Observation : The Externality and Evidential Significance of Observation Reports in Physics. *Social Studies in Science*, vol. 15, n° 1, pp. 3-36.
- POPPER K.R. (1962). *Conjectures and Refutations*. New York, Harper and Row.
- SCHMITT C.B. (1967). Experimental Evidence For and Against a Void : The Sixteenth-Century Arguments. *Isis*, vol. 58, pp. 352-366.
- SCHMITT C.B. (1969). Experience and Experiment : A Comparison of Zabarella's View With Galileo's De Motu. *Studies in the Renaissance*, vol. 16, pp. 80-138.
- SHAPER D. (1991). On Deciding What to Believe and How to Talk About Nature. In M. Pera and W.R. Shea (Éds), *Persuading Science : The Art of Scientific Rhetoric*. Canton, Science History Publications, pp. 89-103.
- SHAPIN S. (1994). *A Social History of Truth*. Chicago, University of Chicago Press.
- SHAPIN S. (1996). *The Scientific Revolution*. Chicago, University of Chicago Press.
- SHAPIN S. & SCHAFFER S. (1985). *Leviathan and the Air-Pump : Hobbes, Boyle and the Experimental Life*. Chicago, University of Chicago Press.
- WINCH P. (1958). *The Idea of a Social Science and Its Relation to Philosophy*. London, Routledge.